

На толстомерном сырье значение $K_3^{ГС1}$ меньше, чем на тонкомерном. Соответственно значения $\Delta K_3^{ГС1}$ на толстомерном сырье увеличены по сравнению с тонкомерным;

- чем меньше K_3^{BC} станков ВС, тем выше $K_3^{ГС1}$ (ниже $\Delta K_3^{ГС1}$);
- в хорошо синхронизированных технологических потоках уменьшение коэффициента загрузки $\Delta K_3^{ГС1}$ достигает минимальной величины – 0,016 - 0,03, т.е. потеря в производительности головного станка ГС1 за счет других станков технологического потока незначительна (1,5 - 3%).

Библиографический список

1. Азарёнок В.А., Гаева Е.В., Чамеев В.В. Синхронизация работы головного станка лесобработывающего цеха с предшествующими операциями при распиловке сырья вразвал // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды II международного евразийского симпозиума. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2007.- С. 23-30.
2. Чамеев В.В., Гаева Е.В., Азарёнок В.А. Обоснование размеров межоперационных запасов сырья перед головным станком лесобработывающего цеха // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды II международного евразийского симпозиума. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2007.- С. 30-36.

Шамаев В. А., Воскобойников И. В., Щелоков В. М.

(ВГЛТА, г. Воронеж, РФ) drevstal@mail.ru

ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

ACHIEVEMENT AND PROBLEMS OF MODIFIED WOOD

Модифицирование древесины малоиспользуемых мягких лиственных пород для создания полноценного заменителя ценной древесины твердых лиственных пород известно давно[1, 2].

В данной работе рассматриваются модифицирование древесины методом прессования, когда за счет уменьшения объема путем механического воздействия комплексно улучшаются прочностные свойства и износостойкость[3, 4]. Так, путем прессования деструктивным методом можно увеличить плотность и, соответственно, прочность древесины до плотности 700 – 800 кг/м³, а возможно даже до 1300 – 1400 кг/м³ по сравнению с плотностью исходной древесины 400 – 600 кг/м³ (осина, тополь, береза, ольха).

Прессование древесины может быть равномерным и неравномерным, когда плотность древесины изменяется по сечению заготовки. Неравномерное уплотнение применяется для получения крупногабаритных изделий, где наивысшая плотность и износостойкость требуется не по всему сечению, а в отдельных точках. Такими изделиями являются строительный брус, железнодорожные шпалы и др. Для получения

таких изделий операции пропитки, сушки и прессования древесины объединяют как по месту так и по времени[4].

Совмещение операций пропитки, прессования и сушки, как по месту, так и по времени, обуславливает наличие различия между явлениями, происходящими в древесине в этом случае и явлениями в случае разделения операций. Рассмотрим явления, происходящие в системе древесина – пропиточный агент при сушке, пропитке и прессовании учитывая, что все эти явления в данном случае тесно связаны между собой.

Сущность совмещенного способа заключается в том, что заготовку из сырой древесины с влажностью порядка 80% помещают в жидкий антисептик, в нашем случае – каменноугольное масло, нагревают его до температуры 100-115°C и сушат до влажности 15-20%, одновременно уплотняя ее путем приложения механического давления до степени сжатия 23-28%. В конце процесса заготовку охлаждают в жидкости до температуры 15-20°C, в результате чего происходит всасывание заготовкой антисептика, то есть реализуется пропитка способом горяче-холодной ванны.

При введении в древесину пропиточного агента процесс пропитки может протекать либо по капиллярному механизму, если влажность древесины ниже точки насыщения волокна, либо по диффузионному, если влажность древесины выше точки насыщения волокна. На практике же в чистом виде очень трудно осуществить пропитку только по одному из этих способов, чаще всего приходится говорить о преобладающем способе пропитки. В нашем же совмещенном способе можно сказать, что в начале процесса при наибольшей влажности древесины преобладающим является диффузионный механизм, доминанта которого в ходе процесса падает, а доминанта капиллярного механизма растет и капиллярный механизм постепенно становится основополагающим. Основная цель пропитки – обеспечить равномерное распределение пропиточного агента по длине и сечению изделия из древесины. Пропитка методом горячей ванны не дает равномерного распределения пропиточного агента внутри древесины, а в случае пропитки методом горячехолодной ванны содержание пропиточного агента практически выравнивается по всей длине [5].

Динамику процесса пропитки по времени можно описать так. Примерно 20% от всего каменноугольного масла, находящегося в древесине после ее обработки совмещенным способом, входит на протяжении стадии сушки, т.е. реализуется способ горячей ванны и примерно 80% – в течение стадии остывания – холодная ванна.

Сушка в данном случае – это высокотемпературный процесс, при котором между каменноугольным маслом и погруженной в него древесиной практически отсутствует влагообмен. Сушка может происходить только при температуре каменноугольного масла выше точки кипения воды при данном давлении. Внутри древесины, вследствие кипения свободной воды, создается избыточное давление, под действием которого пар выходит в атмосферу, преодолевая адгезию древесины и слоя каменноугольного масла над материалом. Таким образом, основным видом влагопереноса здесь является молекулярное перемещение водяного пара под действием градиента избыточного давления.

Древесина, выдерживаемая длительное время в жидкости при постоянной температуре, стремится к определенной равновесной влажности, зависящей от давления и температуры жидкости. Когда древесина достигает равновесного состояния, ее температура равна температуре среды, а в полостях ее клеток содержится чистый перегретый пар. Это дает основания считать, что равновесная влажность древесины в гидрофобной

жидкости равна ее равновесной влажности в чистом перегретом паре, имеющем такие же, как каменноугольное масло, давление и температуру.

Механизм сушки древесины следующий. После погружения древесного сорти-мента в пропиточную жидкость, имеющую температуру выше температуры кипения воды, на его поверхности температура практически сразу же доходит до точки кипения воды, а затем быстро становится равной температуре пропиточной жидкости. Темпера-тура же центральной зоны поддерживается постоянной, на уровне точки кипения воды то тех пор, пока из этой зоны не будет удалена вся свободная вода, затем температура начинает повышаться и в конце процесса приближается к температуре среды, а влаж-ность центральной зоны – к равновесной влажности. В заключительном периоде про-цесса сушки роль молярного влагопереноса незначительна, а основной движущей си-лой процесса является теплопроводность, то есть движение под действием градиента влажности.

Стадия прессования древесины синхронна со стадией сушки, поскольку усилие, необходимое для запрессовки единицы объема древесины по мере снижения влажности древесины возрастает [6]. То есть, во избежание лишних технологических расходов стадии прессования и сушки начинаются и заканчиваются одновременно.

В древесине в ходе стадии прессования на уровне геометрического строения клеток происходят следующие изменения [3]. При сжатии древесины на 20% оболочки крупных сосудов теряют устойчивость, сжимаются. Сердцевидные лучи волнообразно изгибаются около деформированных сосудов. Мелкие сосуды практически не дефор-мируются.

При сжатии образца до 30% крупные сосуды все больше и больше деформиру-ются, сплющиваясь в радиальном направлении. Начинают деформироваться мелкие со-суды, особенно прилегающие к крупным. Сердцевидные лучи все больше изгибаются вокруг деформированных сосудов.

При степени сжатия около 35% наблюдается резкий скачок деформации, в ре-зультате чего происходит смятие стенок крупных и мелких сосудов, особенно в местах наибольшего скопления крупных сосудов. Начинается интенсивное смятие клеток либ-риформа.

После сжатия образца до степени 50% крупные сосуды сильно деформированы и напоминают узкие щели. Сердцевидные лучи сильно изогнуты и волнисты. Клетки либриформа уменьшили полости примерно наполовину, а некоторые сплющились пол-ностью. Однако, даже при степени сжатия 50%, можно наблюдать, что часть клеток либриформа деформировалась незначительно и не происходит полного смыкания по-лостей сосудов.

После полной распрессовки на срезах наблюдаются крупные разрывы в местах наибольшего скопления сосудов. Микроразрушения имеются у всех сосудов и части клеток либриформа. Поэтому, с точки зрения минимизации разрушения элементов строения древесины при прессовании, целесообразно степень деформации ограничить 30%, что и реализовано в данном способе.

Таким образом, рассматривая явления, происходящие в древесине в ходе совме-щенного процесса пропитки, сушки и прессования, можно заключить, что при полном совмещении вышеуказанных стадий по месту, совмещение по времени не совсем пол-

ное, то есть при единовременном начале всех трех стадий сушка и прессование заканчиваются одновременно, а пропитка продолжается еще некоторое время.

Особенность предлагаемого метода заключается в том, что после сушки-пропитки древесины в пропиточном агенте с одновременным воздействием под механического давления цилиндрические заготовки приобретают форму, близкую к прямоугольной (рисунок 1).

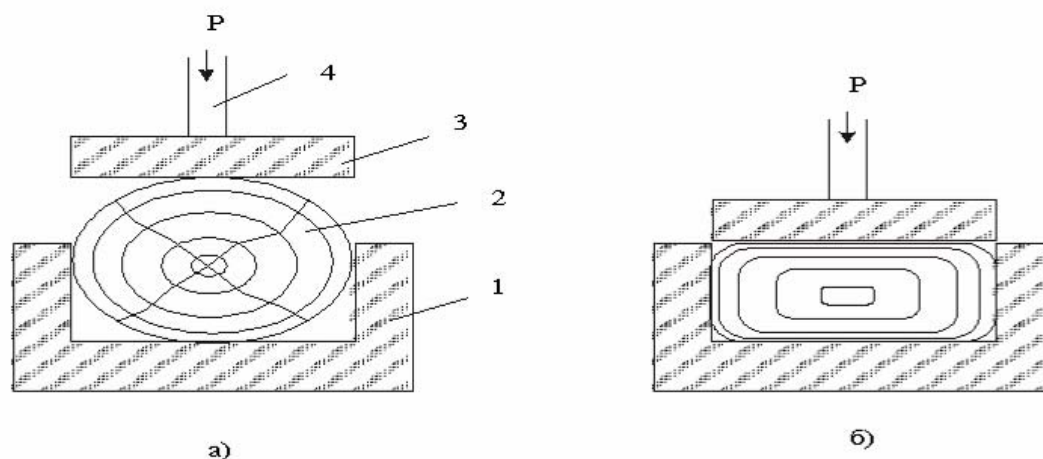


Рисунок 1 – Изменение сечения древесины в ходе совмещенного процесса: а) в начале процесса, б) в конце процесса: 1 – прессформа, 2 – древесина, 3 – прессовая плита, 4 – шток гидроцилиндра

Этот факт обуславливает отличительную особенность данного способа модифицирования древесины – его малоотходность.

В нашем случае для совмещенного способа требуется заготовка из древесины мягких лиственных пород диаметром 24-30 см, в то время как классический способ получения шпал предусматривает выпилку шпал из лесоматериалов хвойных пород диаметром более 35 см.

Для лучшего изучения динамики деформирования было рассмотрено пять изменяющихся в ходе совмещенного процесса мгновенных сечений древесины: начальное – 0, конечное - 3 и промежуточные 1, Т, 2, причем сечение Т (требуемое) соответствует сечению железнодорожной шпалы по ГОСТ 78-89. Сечения представлены на рисунке 2.

Для сечения 0 степень прессования будет равна нулю. Для сечения 1 общая степень прессования будет составлять 10,1%, а в наивысшей точке 20%. Для сечения Т общая степень прессования будет составлять 15,1%, а в наивысшей точке 28%. Для сечения 2 общая степень прессования будет составлять 27,2%, а в наивысшей точке 40%. Для сечения 3 общая степень прессования будет составлять 49,1%, а в наивысшей точке 60%.

Распределение степени прессования по всему сечению древесины представлено на рисунке 3 для всех мгновенных сечений.

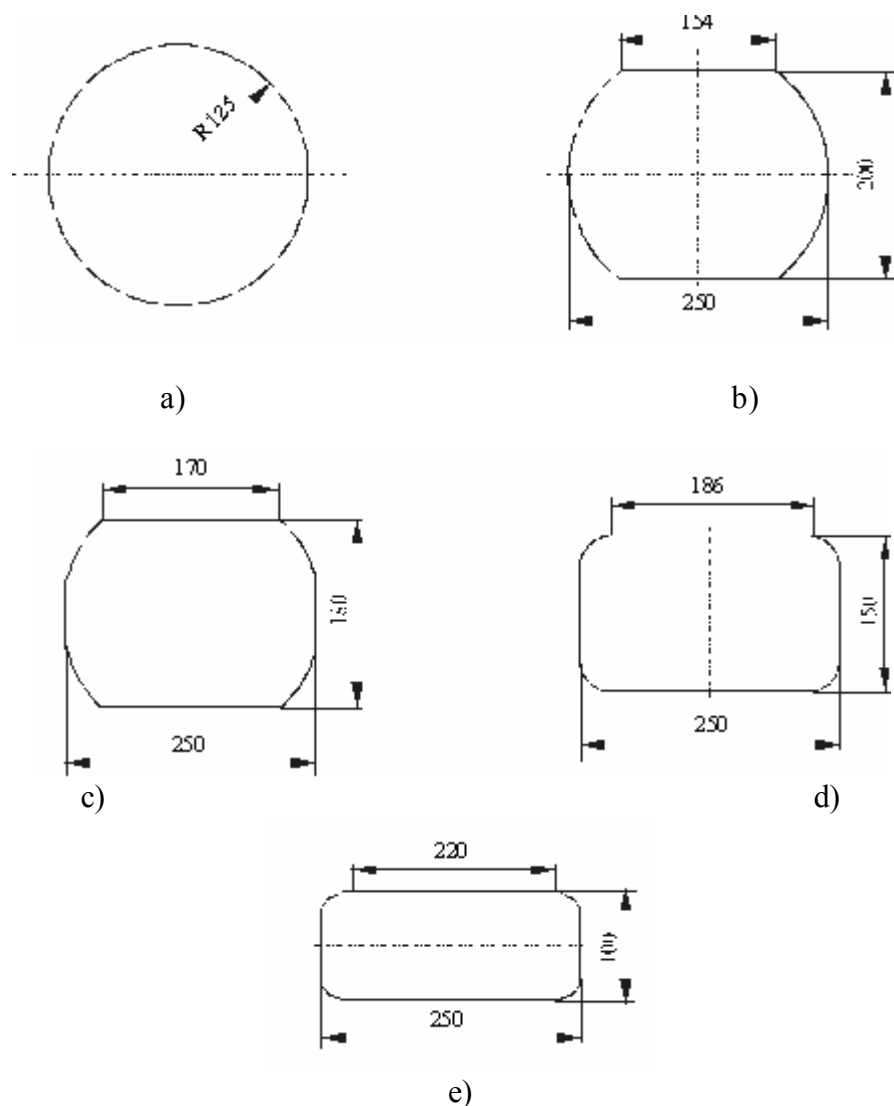


Рисунок 2 – Изменение древесины по мере прессования: а) сечение 0; б) сечение 1; в) сечение Т; д) сечение 2; е) сечение 3.

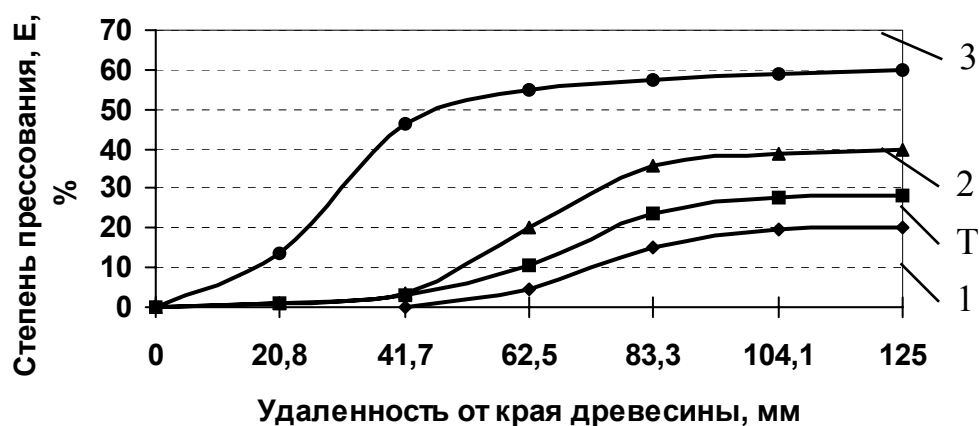


Рисунок 3 – Распределение степени прессования:
1, Т, 2, 3 – номера мгновенных сечений

Кривые, представленные на рисунке 3, были получены следующим образом. Ширина образца древесины от центра до края включительно делилась на 7 равных зон.

В каждой зоне замерялась степень прессования для каждого этапа совмещенного процесса и на базе полученных данных строились кривые. С помощью стандартного пакета программ EXCEL (WINDOWS) находили уравнения, аппроксимирующие полученные кривые. Адекватность найденных уравнений экспериментальным кривым определялась с помощью показателя ξ – величины средней ошибки.

Наиболее корректно описывала полученные кривые функция пятой степени:

Для сечения 1:

$$\varepsilon_1 = 1,82 \cdot 10^{-8} l^5 - 6,26 \cdot 10^{-6} l^4 + 7,04 \cdot 10^{-4} l^3 - 2,80 \cdot 10^{-2} l^2 + 0,338 l - 0,380 = 4,3\% \quad (1)$$

Для сечения Т:

$$\varepsilon_T = 2,42 \cdot 10^{-8} l^5 - 7,92 \cdot 10^{-6} l^4 + 8,41 \cdot 10^{-4} l^3 - 3,03 \cdot 10^{-2} l^2 + 0,386 l - 0,4117 = 2,8\% \quad (2)$$

Для сечения 2:

$$\varepsilon_2 = 4,004 \cdot 10^{-8} l^5 - 1,223 \cdot 10^{-6} l^4 + 1,171 \cdot 10^{-4} l^3 - 3,457 \cdot 10^{-2} l^2 + 0,313 l - 0,085 = 1,7\% \quad (3)$$

Для сечения 3:

$$\varepsilon_3 = -5,221 \cdot 10^{-8} l^5 + 1,78 \cdot 10^{-6} l^4 - 2,147 \cdot 10^{-4} l^3 + 9,906 \cdot 10^{-2} l^2 - 0,471 l + 0,066 = 3,6\% \quad (4)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_T, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – степень прессования, %, l – удаленность от края шпалы, мм.

Пользуясь уравнениями 1–7 можно найти степень прессования в любой точке сечения шпалы и, соответственно, при помощи общеизвестного уравнения 8 – конечную плотность древесины.

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \varepsilon}, \text{ кг/м}^3 \quad (5)$$

где ε – степень прессования, ρ_0, ρ – плотность древесины до и после прессования соответственно, кг/м^3 .

Например, необходимо найти плотность древесины в точке, удаленной от края древесины на 83 мм по сечению 2, зная, что исходная плотность $\rho_0 = 450 \text{ кг/м}^3$.

$$\varepsilon_2 = 4,004 \cdot 10^{-8} 83^5 - 1,223 \cdot 10^{-6} 83^4 + 1,171 \cdot 10^{-4} 83^3 - 3,457 \cdot 10^{-2} 83^2 + 0,313 l - 0,085 = 36\%$$

$$\rho = \frac{450}{1 - 0,36} = 703 \text{ кг/м}^3$$

Для изделий из прессованной древесины, работающих на открытом воздухе очень важным является сохранение размеров в среде с переменной влажностью и температурой. При этом показатели формоизменения должны находиться на уровне натуральной древесины. Например, для железнодорожных шпал стабилизационного влияния маслянистого антисептика оказывается недостаточно, что диктует необходимость введения дополнительного стабилизатора.

Необходимо учитывать, что при использовании бревен из древесины мягких лиственных пород диаметром 25–35 см более половины из них имеют центральную фаутную зону, прочность которой в 2 – 2,5 раза ниже прочность периферийной зоны. В этом случае используют пропитку с торца под давлением антисептиком, содержащим упрочняющий агент и только после этого производят сушку с одновременным прессованием.

Здоровую зону древесины пропитывают маслянистым антисептиком, а фаутную зону смесью маслянистого антисептика и упрочняющего раствора содержащего растворитель – керосин или уайт-спирит и упрочняющее вещество, выбранное из группы включающей: отходы производства каучука – кубовые остатки ректификации бутадиена, ку-

бковые остатки ректификации толуола, фенолоспирты, причем количество упрочняющего раствора определяют из формулы 6:

$$M = k \frac{H_3}{H_\phi} \cdot C \cdot V, \quad (6)$$

где M - количество упрочняющего раствора, л;

H_3 - твердость здоровой зоны, $H / мм^2$,

H_ϕ - твердость фаутной зоны, $H / мм^2$,

C - концентрация упрочняющего раствора в фаутной зоне, $л / м^3$,

V - объем фаутной зоны, $м^3$,

k - коэффициент, учитывающий уменьшение диаметра фаутной зоны от комлевой части бревна к вершинной, $0,8 \leq k \leq 1$.

Кроме того в качестве упрочняющего раствора возможно использование форконденсата карбамидоформальдегидного олигомера (КФК).

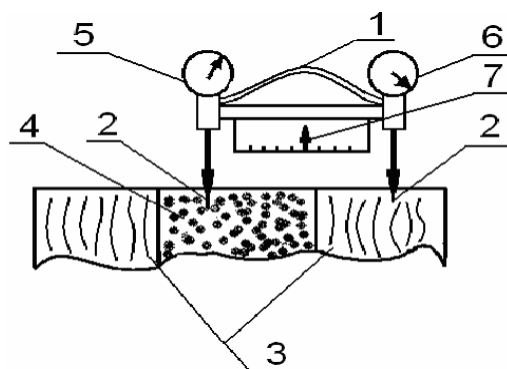
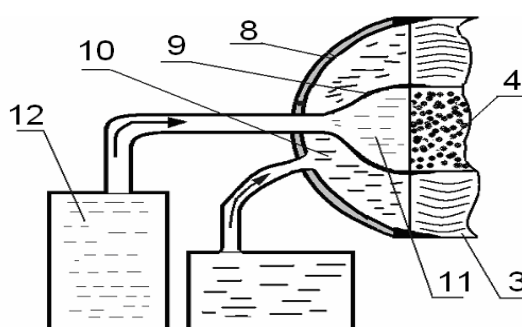


Рисунок 4 – Прибор для определения соотношения величины твердости здоровой зоны к твердости фаутной зоны H_3 / H_ϕ



Рисунке 5 – Пропиточное устройство для раздельной пропитки фаутной и здоровой древесины

На рисунке 4 показан прибор для определения соотношение твердости здоровой зо-

ны к твердости фаутной зоны H_3 / H_ϕ , а на рисунке 5 пропиточное устройство для раздельной пропитки фаутной и здоровой древесины.

Прибор работает следующим образом. Рукояткой 1 реперы 2 внедряются одновременно в здоровую 3 и фаутную 4 зоны древесины. Сопротивление внедрению показывают, соответственно твердомеры 5 и 6, соотношение твердости здоровой зоны к твердости фаут-

ной зоны $\frac{H_3}{H_4}$ указывает стрелка 7.

Пропиточное устройство состоит из внешней головки 8, цилиндрический нож которой внедряется в здоровую древесину 3 и внутренней головки 9, цилиндрический нож которой внедряется в фаутную зону 4. Во внешнюю головку 8 поступает маслянистый антисептик 10, а во внутреннюю головку 9 смесь 11 из маслянистого антисептика и упрочняющего раствора, которая поступает из смесителя 12. Упрочняющий раствор состоит из упрочняющего вещества и растворителя. В качестве растворителя используется керосин или уайт-спирит. Количество растворителя в растворе зависит от вязкости упрочняющего вещества и может колебаться по объему от 5 до 15%.

Способ осуществляется следующим образом [7, 8]. Прибором, показанным на рисунке 4, находится соотношение величины твердости здоровой зоны к твердости фаутной зоны

$\frac{H_1}{H_0}$, т.е. степень поражения грибами центральной зоны ствола и визуально определяется коэффициент k , учитывающий уменьшение диаметра фаутной зоны от комлевой части бревна к вершинной.

После этого сырая заготовка шпалы диаметром 25 см, длиной 2,75 м помещается в пропиточную установку и с помощью гидроцилиндра пропиточные головки 8 и 9 внедряются на глубину 15 мм в торец заготовки, содержащей здоровую 3 и фаутную 4 зоны. В головку 8 закачивается маслянистый антисептик, например, известные антисептики из патентов RU 2303522, 27.07.2007 или RU 2097056, 27.11.1997, или RU 2038829, 09.07.1995, или RU 2020949, 19.03.1994 и происходит сквозная пропитка под давлением 8 атм. в течение 12 мин.

По формуле 6 находится объем пропиточного раствора, который необходимо ввести в данную заготовку. Из смесителя 12 дозировано в пропиточную головку 6 закачивается смесь 11 упрочняющего раствора и маслянистого антисептика и под давлением 8 атм. одновременно с пропиткой здоровой зоны 3 происходит пропитка фаутной зоны 4 в течение 8-10 мин.

Пропитанные заготовки помещают в установку для обработки древесины по пат. РФ №2039645 и сушат при температуре 105°C в течение 22 ч до влажности 20% с одновременным уплотнением при механическом давлении 0,8 МПа с получением в сечении прямоугольного профиля готовой шпалы 18x25 см. В процессе сушки происходит полимеризация упрочняющего вещества и прочность фаутной зоны возрастает до прочности здоровой зоны заготовки. В результате получается готовая шпала, имеющая по всей толщине и длине равную прочность и равномерное распределение антисептика.

В таблице 1 приведены данные по формоизменению модифицированной древесины шпал.

Из таблицы 1 видно, что величина линейного разбухания модифицированной древесины после суточной выдержки ее в воде в центральной зоне полушпалы выше, чем в периферийной, причем разница между этими величинами составляет в направлении прессования — 5,53%, в направлении, перпендикулярном прессованию — 4,87%.

После 30 суток выдержки модифицированной древесины в воде картина меняется на противоположную. Теперь уже величина линейного разбухания модифицированной

ной древесины в центральной зоне полушпалы ниже, чем в периферийной, причем разница между этими величинами составляет в направлении прессования — 2,98%, в направлении перпендикулярном прессованию — 1,28%.

Таблица 1 - Линейное разбухание модифицированной древесины

№ зоны	Линейное разбухание модифицированной древесины в направлении, %	
	прессования	перпендикулярном прессованию
После суточной выдержки в воде		
1	7,90	9,01
2	7,36	8,82
3	6,69	8,39
4	5,43	7,03
5	2,37	4,14
среднее	5,95	7,48
для целой шпалы	6,01	7,50
После 30 суток выдержки в воде		
1	10,89	10,04
2	12,20	10,67
3	13,11	10,90
4	13,63	11,15
5	13,87	11,32
среднее	12,74	10,81
для целой шпалы	12,85	10,93

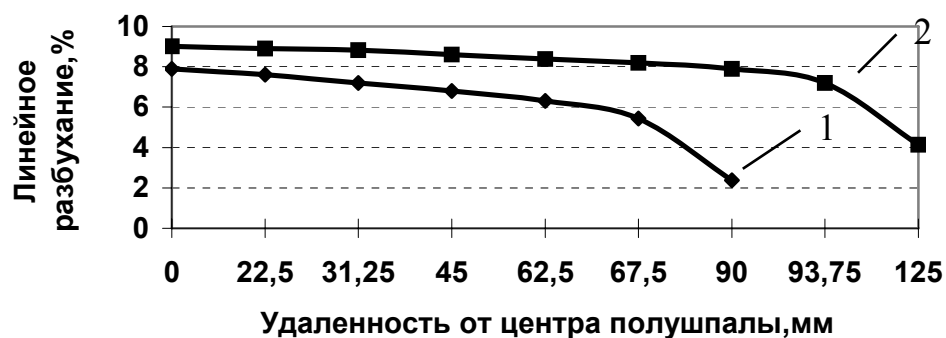
Это явление объясняется тем, что древесина по всему сечению полушпалы модифицирована неравномерно, а, следовательно, имеет разные свойства. То есть свойства древесины центральной зоны полушпалы, полученной совмещенным способом, аналогичны свойствам натуральной древесины. На периферии же степень модификации древесины довольно высока, и разбухание древесины вначале идет менее интенсивно, чем у натуральной, потому что с увеличением плотности древесины уменьшается площадь поверхности клеточных стенок, в углублениях которых удерживается микрокапиллярная вода, а, следовательно, уменьшается и площадь контакта древесины с водой. Затем в ходе процесса водопоглощения модифицированная древесина достигает предела насыщения клеточных стенок, и давление свободной влаги увеличивает объем межклеточных полостей, который был уменьшен в ходе процесса модифицирования операцией прессования.

Этот факт свидетельствует о том, что древесина по сечению полушпалы модифицирована в большей степени в направлении прессования, нежели в направлении, перпендикулярном прессованию.

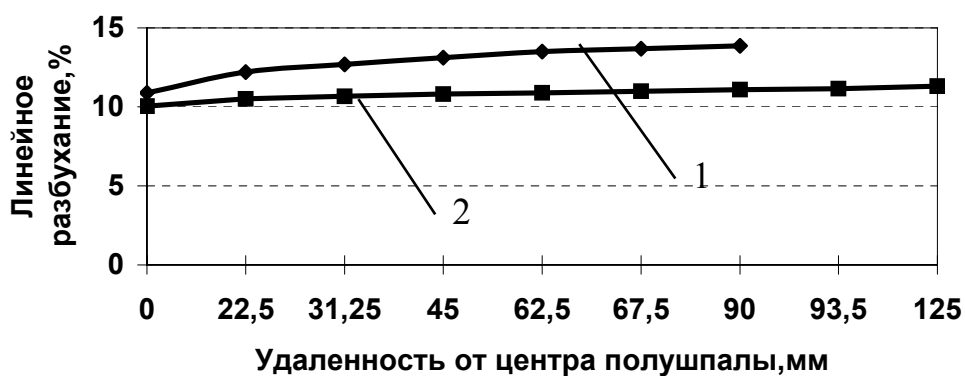
На рисунке 6 показано распределение величин линейного разбухания модифицированной древесины по сечению полушпалы.

Из рисунка 6 видно, что линейное разбухание модифицированной древесины по сечению в направлении от центра к периферии после суточной выдержки ее в воде снижается вначале более плавно, а в конце сечения более круто, тогда как после выдержки модифицированной древесины в воде в течение 30 суток линейное разбухание

по сечению растет по направлению от центра к периферии сначала круто, а в конце более плавно.



а)



б)

1 – кривая распределения в направлении прессования;

2 – кривая распределения в направлении перпендикулярном прессованию

Рисунок 6 – Распределение величины линейного разбухания по сечению полушпалы: а) после выдержки в воде в течение суток; б) после выдержки в воде в течение 30 суток

На рисунке 7 представлена кинетика линейного разбухания модифицированной древесины.

Как видно из рисунка 7 максимальное линейное разбухание модифицированной древесины не превышает 12,74% в направлении прессования и 10,81% — в направлении, перпендикулярном прессованию, то есть разбухание модифицированной древесины незначительно отличается от натуральной древесины и в 5 раз ниже разбухания немодифицированной прессованной по способу Хухрянского древесины.

Наиболее интенсивно разбухание происходит в первые сутки и практически заканчивается через 4-5 суток пребывания образцов в воде. Также можно заключить, что в конечном итоге разбухание в направлении прессования больше, чем в направлении, перпендикулярном прессованию, но эта разница незначительна.

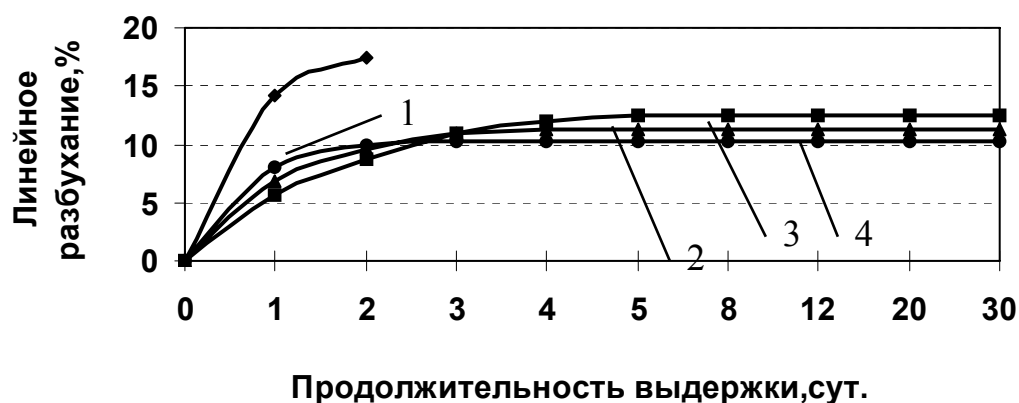


Рисунок 7 – Линейное разбухание модифицированной древесины при водопоглощении, где: 1 — прессованная по способу Хухрянского древесины в направлении прессования; 2 и 3 — модифицированная совмещенным способом древесины березы в направлении прессования и перпендикулярном прессованию направлению соответственно; 4 — натуральная древесина березы

Экспериментальным путем были получены уравнения, связывающие технологические факторы с показателями физико-механических свойств шпал (усредненные данные по всей шпале на основе 8 измерений).

$$\rho_x = 3,6t + 1100P + 49,15\tau - 0,006t^2 - 405p^2 + 0,02\tau^2 - 1,7tp - 0,058p\tau - 39,4p\tau; \quad (10)$$

$$V_b = 0,22t + 9P - 0,92\tau - 0,001t^2 - 3,08P^2 + 0,087\tau^2 - 1,31P\tau; \quad (11)$$

$$W = 0,86t - 7,28\tau - 0,005t^2 + 0,205\tau^2 + 0,03t\tau; \quad (12)$$

$$E = -0,05t + 38,65p + 1,75\tau + 0,0005t^2 - 14,65P^2 - 0,009\tau^2 - 0,05tP - 1,42P\tau - 0,001t\tau; \quad (13)$$

$$M = 0,12t + 32,83p - 2,2\tau + 0,00008t^2 - 21,02P^2 + 0,35\tau^2.$$

где ρ - плотность, кг/м^3 ; V - линейное разбухание в воде за 30 сут, %; M - содержание антисептика, %; E - модуль упругости ГПа; t - температура антисептика, $^{\circ}\text{C}$; P - удельное давление, МПа; τ - время, ч.

Многокритериальная оптимизация полученных моделей на ЭВМ позволила получить следующие оптимальные показатели: температура антисептика $t=110^{\circ}\text{C}$; удельное давление $P=0,7$ МПа; время сушки $\tau=5$ ч.

При этом показатели свойств модифицированной древесины березы таковы: плотность 837 кг/м^3 ; линейное разбухание $9,3 \%$; модель упругости при статическом изгибе $19,6 \text{ ГПа}$, содержание антисептика $22,5 \%$.

Технологический режим получения шпал графически представлен на рисунке 8.

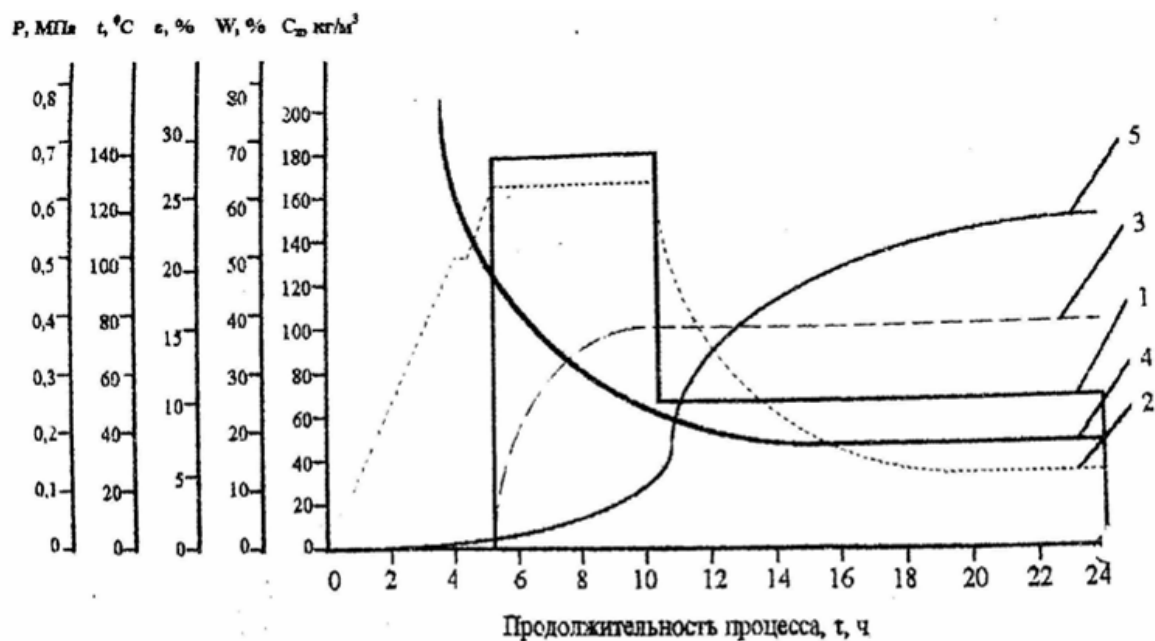


Рисунок 8 – Параметры технологического режима получения модифицированной древесины для шпал: 1 – удельная нагрузка, МПа; 2- температура антисептика $t^{\circ}\text{C}$; 3- деформация $\varepsilon\%$; 4 – влажность $W\%$; 5 – содержание антисептика в древесине $C \text{ кг/м}^3$

Библиографический список

1. Wood Chemical Modification with Alkenyl Succinic Anhydrides Bearing an Ester Group (17) Vaca-Garcia, Carlos 1,2; Pignolet, Olivier 1,2; Rekarte, Iona3; Murine, Oriol3; Borredon, Elisabeth 1,2 IUniversite de Toulouse, INP, LCA (Laboratoire de Chimie Agro-industrielle), Toulouse, France; 2INRA; LCA (Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle), Toulouse, France; 3CIDEMCO, Biotek Department, Azpeitia, Spain
2. Шамаев В. А. Проблемы модифицирования древесины. – Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», 2005, №6. 88 – 95 С.
3. Шамаев В. А. Строение и свойства модифицированной древесины – Труды IV международного симпозиума «Строение, свойства и качество древесины», С. Петербург, Т.1., 2004, с. 390 – 392.
4. Шамаев В. А. Модифицирование древесин. Учебное пособие, Воронеж: ВГЛТА, 2007, с. 385.
5. Патент РФ № 218 59 58 МПК В М 3/14 Способ изготовления деревянной шпалы. Авт. Шамаев В. А., Сидельников А. И., Томин А. А. Заявл.18.12.2000, опубл. 27.07.2002, бюлл.№21.
6. Патент РФ № 212 81 13 МПК В 27 Л 3/08 Способ получения модифицированной древесины. Авт. Шамаев В. А., Гвозденко С. П., Томин А. А. Заявл. 09.07.1996, опубл. 27.03.1999, бюлл.№11.
7. Патент РФ № 222 77 79 МПК В 27 К 3/10 Устройство для пропитки древесины под давлением. Шамаев В. А., Панявин С. Н., Скоридонов Р. В. Заявл.10.02.2003, опубл. 27.04.2004 бюлл.№12.
8. Патент РФ № 234 68 09 МПК В 27 К 3/02 Способ получения модифицированной древесины. Авт. Шамаев В. А., Медведев И. Н., Златоустовская В. В., Анучин А. И. Заявл. 04.04.2007, опубл. 20.02.2009, бюлл.№5.